

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Návrh pneumatické větve testovacího zařízení technologie SNCR

Project of Pneumatic Circuit of SNCR Technology Testing Device

Student:

Petr Vacula

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Blejchař, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Vacula**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Návrh pneumatické větve testovacího zařízení technologie SNCR**
Project of Pneumatic Circuit of SNCR Technology Testing Device

Zásady pro vypracování:

1. Navrhněte pneumatickou větev testovacího modulu pro technologii SNCR. Maximální spotřeba vzduchu bude $Q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$. Minimální tlak pro bezproblémový chod obvodu je 0.4 MPa .
2. Pneumatická větev musí zajistit následující funkce: redukci tlaku vzduchu na hodnotu 0.4 MPa a vyrovnávat kolísání tlaku v rozvodné síti, distribuovat vzduch k šesti tryskám, umožnit nezávislé uzavírání jednotlivých větví. Dále musí být při provozu zobrazován průtok vzduchu, a to celkový a v jednotlivých větvích, a dále tlak před a za redukčním ventilem.
3. Navrhněte všechny nezbytné základní části obvodu: redukční ventil, filtr, manometry, průtokoměr, uzavírací ventil atd.
4. Obvod navrhněte pro dvě varianty 1) neelektrické snímače veličin a mechanicky ovládané ventily 2) elektrické snímače veličin a elektricky ovládané ventily
5. Vypracujte základní schéma obvodu (min. schéma obvodu).

Rozsah práce: 30-40 str. textu, výkresová dokumentace min. dva výkresy A3

Seznam doporučené odborné literatury:

1. PAVLOK, Bohuslav; KOPÁČEK, Jaroslav. Tekutinové mechanismy. VŠB-TU Ostrava, 1997. 151 s. ISBN 80-7078-238-2.
2. KOPÁČEK, Jaroslav. Pneumatické mechanismy. Díl I, Pneumatické prvky a systémy. VŠB-TU Ostrava, 1996. 265 s. ISBN 80-7078-306-0.
3. LIŠKA, A.; NOVÁK, P.: Technika stlačeného vzduchu. Praha: ČVUT, 1999, 361 s. 1. vydání. ISBN 80-01-01947-0
4. HRADIL, František. Potrubní systémy. VŠB-TU Ostrava, 1994. 159 s. 80-7078-253-6
5. MEDEK, Jaroslav. Potrubní technika. SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1973. 244 s.
6. NECKÁŘOVÁ, Jarmila; DOSKOČIL, Ladislav. Potrubí a armatury. České vysoké učení technické, 1978. 172 s.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Blejchař, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jiří Pecháček

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřisežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18.5.2012


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 18. 5. 2012



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Petr Vacula

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Díly 538, Milotice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VACULA, P. *Návrh pneumatické větve testovacího zařízení technologie SNCR: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB-Technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2012, 40 s, Vedoucí práce: Blejchař, T.

Bakalářská práce je zaměřena na návrh pneumatické větve testovacího zařízení technologie SNCR. Jako první jsem na základě zadaných parametrů vybral šroubový kompresor. Dle připojovacího rozměru kompresoru jsem navrhl potrubí v prvním úseku obvodu. Všechny prvky, které jsou součástí tohoto úseku obvodu, jsem volil s ohledem na připojovací rozměr potrubí v prvním úseku obvodu. Tento způsob volby prvků je z důvodu minimalizace místních ztrát i za cenu mírného předimenzování prvků. Pokud bych vybíral prvky podle jiných parametrů, bylo by nutné použití redukce, což by zapříčinilo zvýšení místních ztrát na prvcích a složitější instalaci do pneumatického obvodu. Potrubí v druhém úseku obvodu jsem navrhl dle zadaného průtoku. Obvod je navržen pro variantu s neelektrickými a elektrickými prvky.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

VACULA, P. *Project of Pneumatic Circuit of SNCR Technology Testing Device: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment, 2010, 39 p. Thesis head Blejchař, T.

Bachelor thesis deals with design of pneumatic circuit of trial test apparatus for demonstration of SNCR technology. As a first an air compressor was specified on the basis of main parameters specification. Pipe lines were designed with respect of nominal diameter of compressor flange. All others equipments of pneumatic circuit was specified with respect to upstream nominal diameter. This way of specification was chosen on account of minimisation of pressure drop of pneumatic components. If the individual components was specified by different way, reduction pieces would be installed which evoke increasing of loses of pneumatic elements and problematic installation in pneumatic circuit. Pipelines of second section of pneumatic circuit were designed on the base of specified volume flow of air. Pneumatic circuit was designed as a variant with electric and non-electric sensors and valves.

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Tomáši Blejchařovi, Ph.D. za ochotu při odborných konzultacích a cenné připomínky, rady a podněty při tvorbě této bakalářské práce.

Obsah

Seznam použitého značení	10
Úvod	13
1. Kompresory	14
1.1. Jednostupňový pístový kompresor	15
1.2. Šroubový kompresor	16
2. Potrubí	17
2.1. Výběr potrubí pro první úsek obvodu	18
2.2. Kontrolní výpočet pro zadané hodnoty:	19
3. Tlakové ztráty ve vedení	20
3.1. Výpočet tlakových ztrát ve vedení – první úsek	21
3.2. Výběr potrubí pro druhý úsek obvodu	22
3.3. Výpočet tlakových ztrát ve vedení – druhý úsek	23
4. Filtř	25
5. Dvoucestný jednosměrný ventil	26
6. Snímače tlaku	27
6.1. Neelektrické manometry	28
6.2. Elektrické manometry	29
7. Průtokoměry	30
8. Vzdušník	33
8.1. Výpočet objemu vzdušníku	33
8.2. Volba vzdušníku pro první úsek obvodu	34
8.3. Volba malého vzdušníku pro druhý úsek obvodu	35
9. Pneumatické prvky na vzdušníku Vsv-11	35
9.1. Manometr na vzdušníku	35
9.2. Ventil pro odpouštění kondenzátu	35
9.3. Teploměr	36

9.4.	Uzavírací ventil a odvětrávací ventil	37
9.5.	Pojistný ventil na vzdušníku	38
10.	Redukční ventil.....	40
10.1.	Výběr redukčního ventilu dle připojovacího průměru	41
10.2.	Výběr redukčního ventilu dle daného průtoku	42
10.3.	Řez redukčním ventilem	43
11.	Jehlový ventil.....	44
12.	Závěr.....	45
	Seznam použité literatury	46
	Seznam příloh.....	48

Seznam použitého značení

Značka	Název	Rozměr
p	tlak	[bar]
p_{\min}	minimální tlak v obvodu	[bar]
p_{\max}	maximální dovolený tlak	[bar]
p_1	tlak v prvním úseku obvodu	[bar]
p_2	tlak v druhém úseku obvodu	[bar]
p_N	tlak za normálních podmínek	[Pa]
Q	průtok	[m ³ · h ⁻¹]
Q_N	průtok za normálních podmínek	[m ³ · h ⁻¹]
Q_{N1}	normální průtok v prvním úseku	[m ³ · h ⁻¹]
Q_{N2}	normální průtok v druhém úseku	[m ³ · h ⁻¹]
Q_1	přepočtený průtok pro 1 úsek	[m ³ · h ⁻¹]
Q_2	přepočtený průtok pro 2 úsek	[m ³ · h ⁻¹]
Q_{\max}	maximální dovolený průtok	[m ³ · h ⁻¹]
DN	připojovací rozměr	[mm]
P	výkon	[kW]
DC	stejnosměrný elektrický proud	[A]
U	napájecí napětí	[V]
V	objem	[m ³]
V_V	objem vzdušníku	[m ³]
v	rychlost proudění vzduchu	[m · s ⁻¹]
v_1	rychlost proudění vzduchu 1 úsek	[m · s ⁻¹]
v_2	rychlost proudění vzduchu 2 úsek	[m · s ⁻¹]
m	hmotnost	[kg]

Značka	Název	Rozměr
d	jmenovitá světlost	[mm]
d_1	jmenovitá světlost 1 úsek	[mm]
d_2	jmenovitá světlost 2 úsek	[mm]
D	průměr	[mm]
L_{\max}	maximální vzdálenost upevnění	[m]
T_N	teplota za normálních podmínek	[K]
T_1	teplota okolí 1 úsek	[K]
T_2	teplota okolí 2 úsek	[K]
s	tloušťka stěny	[mm]
Δp	tlaková ztráta	[Pa]
Δp_1	tlaková ztráta 1 úsek	[Pa]
Δp_2	tlaková ztráta 2 úsek	[Pa]
λ	součinitel tření	[1]
λ_1	součinitel tření 1 úsek	[1]
λ_2	součinitel tření 2 úsek	[1]
ρ	hustota vzduchu	[kg · m ⁻³]
ρ_1	hustota pro první úsek obvodu	[kg · m ⁻³]
ρ_2	hustota pro druhý úsek obvodu	[kg · m ⁻³]
L	délka potrubí	[m]
L_1	délka potrubí 1 úsek	[m]
L_2	délka potrubí 2 úsek	[m]
Re	Reynoldsovo číslo	[1]
Re_1	Reynoldsovo číslo 1 úsek	[1]
Re_2	Reynoldsovo číslo 2 úsek	[1]
ν	kinematická viskozita vzduchu	[m ² · s ⁻¹]

Značka	Název	Rozměr
ν_1	kinematická viskozita vzduchu 1 úsek	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$
ν_2	kinematická viskozita vzduchu 2 úsek	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$
ξ	ztrátový součinitel	[1]
ξ_1	ztrátový součinitel 1 úsek	[1]
ξ_2	ztrátový součinitel 2 úsek	[1]
K_V	průtokový součinitel	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
K_{V1}	průtokový součinitel 1 úsek	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
K_{V2}	průtokový součinitel 2 úsek	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
r	měrná plynová konstanta	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
Δp_c	celková tlaková ztráta obvodu	[Pa]

Úvod

Cílem této bakalářské práce je navrhnout pneumatickou větev testovacího modulu pro technologii SNCR. V pneumatickém obvodu musí být pro bezproblémový chod zajištěn minimální tlak $p_{\min} = 4 \text{ bar}$. Maximální spotřeba vzduchu bude $Q_N = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Do pneumatické větve budou zařazeny všechny nezbytné prvky obvodu, které zajistí bezproblémový chod. S ohledem na použití pneumatického obvodu v průmyslovém prostředí, vybírám prvky odolné vůči mechanickému poškození a taktéž odolné vůči okolním teplotám.

Pneumatická větev musí zajistit redukci tlaku na požadovanou hodnotu 5,5 bar. Tuto funkci splní redukční ventil. Dále musí být při provozu měřen tlak před a za redukčním ventilem.

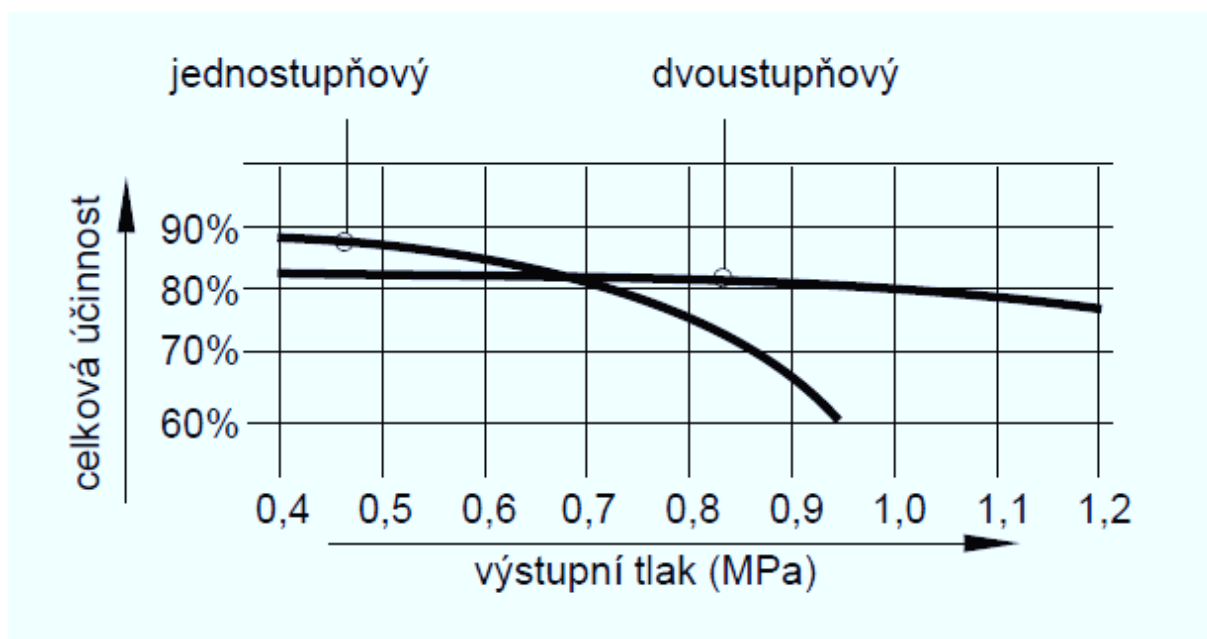
Stlačený vzduch bude distribuován k šesti tryskám. Pneumatický obvod zajistí, že každou z šesti větví, které budou dodávat stlačený vzduch k tryskám, budeme moci nezávisle na sobě uzavírat. Stejně tak zajistí zobrazování celkového průtoku vzduchu a průtoku vzduchu v jednotlivých větvích.

Obvod bude navržen pro dvě varianty: 1) Neelektrické snímače veličin a mechanicky ovládané ventily. 2) Elektrické snímače veličin a elektricky ovládané ventily. V příloze bude vypracována výkresová dokumentace pro obě varianty obvodu.

1. Kompresory

Kompresor slouží pro výrobu stlačeného vzduchu. Přeměňuje mechanickou energii na tlakovou energii, jíž se pohání pneumatické mechanismy. Kompresory rozdělujeme podle principu činnosti práce kompresorů na objemové nebo rychlostní. Rychlostní, nazývané také jako odstředivé kompresory, jsou buď radiální nebo axiální. Objemové kompresory dělíme na kompresory s rotačním pohybem a kompresory s přímočarým pohybem. [2]

V případě, kdy pracovní tlak nepřesahuje hodnotu 15 bar, tak se nejčastěji volí kompresory objemové. Pro malou až střední výkonnost kompresoru $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ až $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ se používají jednostupňové pístové kompresory do tlaku 7 bar a do tlaku 12 až 20 bar dvoustupňové.[2] Stejně parametry se uplatňují i na kompresory lamelové a menší kompresory šroubové.

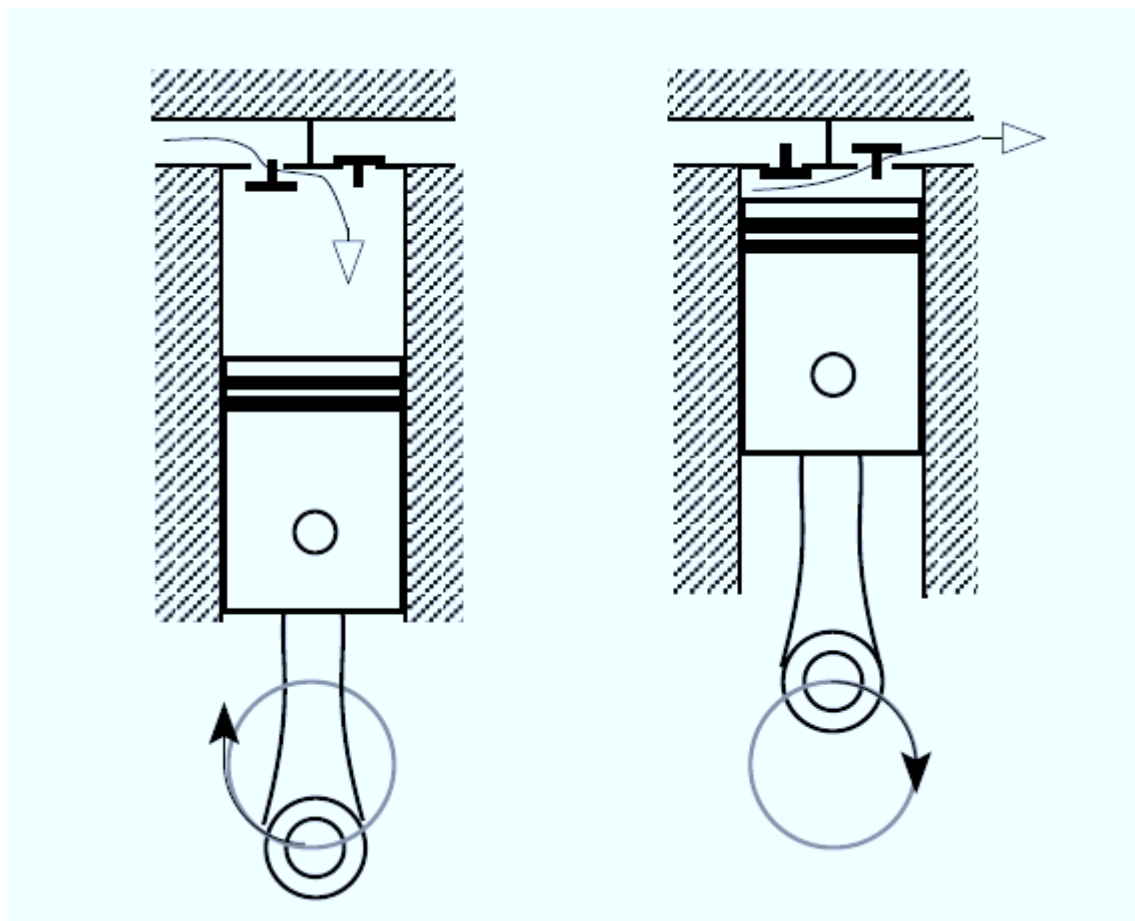


Obr.1.1 Graf závislosti celkové účinnosti η_c na výstupním tlaku p

Zvolit kompresor pro zadané parametry $Q_N = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a $p_{\min} = 4 \text{ bar}$ můžu po prostudování katalogů firem následovně: 1) Vyberu jeden šroubový kompresor, který pokryje celkovou dodávku stlačeného vzduchu. 2) Zvolím dva jednočinné pístové kompresory, které budou zapojeny paralelně a budou dodávat stlačený vzduch společně.

1.1. Jednostupňový pístový kompresor

Díky pohybu pístu od hlavy válce směrem ke klikové hřídeli vzniká podtlak, který otevře samočinný sací ventil a nasaje vzduch z atmosféry do válce. Při opačném pohybu směrem k hlavě válce dochází ke stlačení vzduchu, uzavře se samočinný sací ventil a po dosažení určitého tlaku se otevře samočinný výfukový ventil a stlačený vzduch proudí dál do pneumatického obvodu.



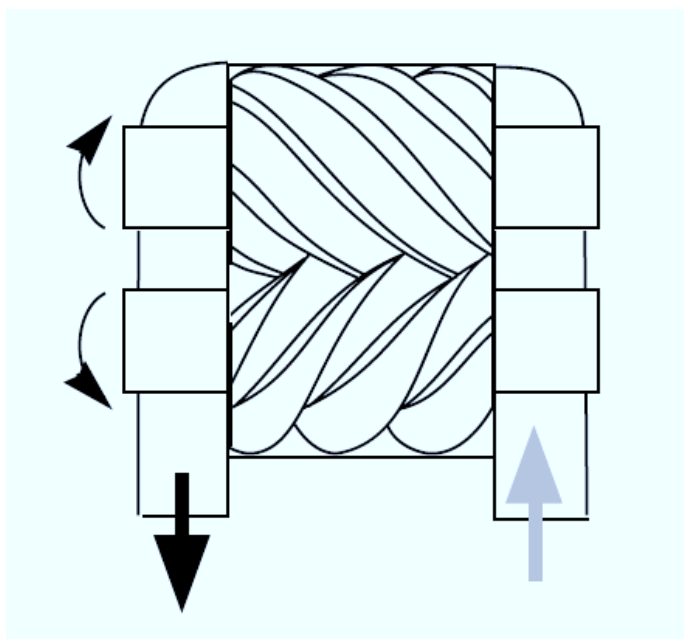
Obr.1.2 Sání a výtlak jednostupňového kompresoru

Tab.1.1 Jednostupňový kompresor

Výrobce	Typ	p_{\max}	Q_{\max}	P	DN
		[bar]	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	[kW]	[mm]
Orlík	EKA40	10	51,5	5,5	20

1.2.Šroubový kompresor

Šroubový kompresor pracuje na principu otáčení dvou šroubových rotorů, které nasání natáhnou vzduch do mezery mezi rotory. Otáčením rotorů se mezera uzavře a prostor mezi rotory se axiálně zmenšuje, čímž dochází k stlačování vzduchu. Když mezera dosáhne hrany na výtlaku, stlačený vzduch vytlačí ven. Pro dobré těsnění, mazání a chlazení se mezi rotory vstřikuje olej, který se odstraňuje odlučovačem oleje, jenž je instalován na výtláčném potrubí kompresoru.



Obr.1.3 Princip šroubového kompresoru

Tab.1.2 Šroubové kompresory

Výrobce	Typ	p_{\max}	Q_{\max}	P	DN
		[bar]	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$	[kW]	[mm]
Orlík	ORL 15 BX	10	116	15	25
Orlík	RLR 1500V	9,5	101	11	20
Mark	MSM 15/8DX-500F	8	105	15	20

Podle zadaných parametrů $Q_N = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a $p_{\min} = 4 \text{ bar}$ vybírám kompresor typu RLR 1500V od firmy Orlík. Jeho přípojovací rozměr je důležitý, protože podle něj zvolím průměr potrubí v prvním úseku obvodu. Každý další prvek v prvním úseku pneumatického obvodu budu vybírat tak, aby jeho přípojovací rozměr souhlasil s přípojovacím rozměrem potrubí a nevznikaly příliš velké místní ztráty, i za cenu mírného předimenzování prvků.

2. Potrubí

Vedení vzduchu rozdělíme na tři kategorie:

- vedení od kompresorové stanice do výrobních hal
- rozvod stlačeného vzduchu ve výrobní hale
- vedení stlačeného vzduchu mezi prvky pneumatického mechanismu

Tlaková potrubí pro hlavní vnitřní rozvod stlačeného vzduchu, kde světlost potrubí vychází desítky mm jsou většinou ocelová z bezešvých trubek (ČSN 13 2016-17), které se spojují přírubami dle ČSN 13 1221-63.

U rozvodů stlačeného vzduchu do délky jednoho kilometru se toleruje maximální objemová ztráta 10 až 15% výkonnosti kompresoru. Průměr potrubí můžeme vypočítat podle vzorce (1.1) pro zadaný průtok stlačeného vzduchu v potrubí a zvolenou rychlost proudění nebo je světlost potrubí přímo dána přípojovacím průměrem daného pneumatického prvku.[2]

$$d = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{Q_{PŘ}}{v}} \quad (1.1)$$

přičemž průtok $Q_{PŘ}$ dosazujeme v $\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$ a rychlost v volíme v $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Rychlost volíme podle druhu vedení:

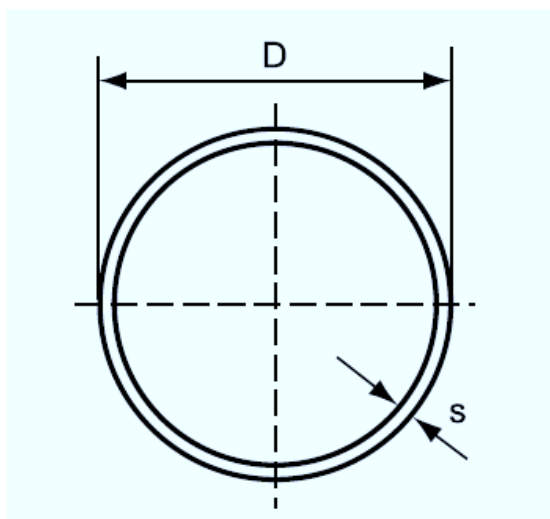
- vnitřní rozvody 10 až $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- přívodní vedení k pneumatickému mechanismu 15 až $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- spojovací vedení mezi jednotlivými prvky 30 až $60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

2.1. Výběr potrubí pro první úsek obvodu

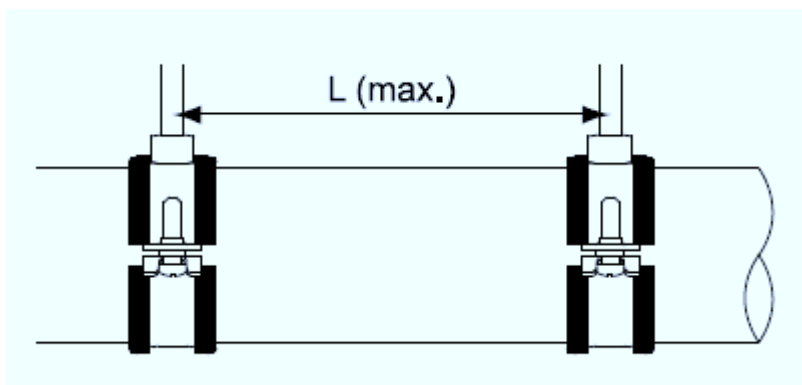
Světlost potrubí volím podle připojovacího průměru na kompresoru. Připojovací závit na kompresoru je G1, tomuto připojovacímu závitě je dána jmenovitá světlost 25 mm. Dle tohoto rozměru volím ocelovou trubku bezešvou od firmy Walraven.

Parametry trubky:[5]

- materiál – ocel 37
- průměr $D = 33,7 \text{ mm}$
- tloušťka $s = 2,6 \text{ mm}$
- připojovací rozměr je G1 – DN = 25 mm
- hmotnost $m = 2,63 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$
- vzdálenost upevnění $L_{\text{max}} = 3,5 \text{ m}$



Obr.2.1 Průměr potrubí



Obr.2.2 Maximální vzdálenost upevnění

2.2. Kontrolní výpočet pro zadané hodnoty:

Dané parametry:

$$p_N = 0,1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$T_N = 293,15 \text{ K}$$

$$Q_N = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$p_{\min} = 0,4 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Díky využití pneumatického obvodu u technologie SNCR lze očekávat zvýšené teploty, proto $T_1 = 313,15 \text{ K}$. Rychlost proudění v volím $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Přepočet průtoku na dané podmínky [1] je dán vztahem (1.2)

$$Q = \frac{p_N \cdot T_1 \cdot Q_N}{(p_{\min} + p_N) \cdot T_N} \quad (1.2)$$

Výpočet průtoku podle zadaných parametrů dle vztahu (1.2)

$$Q = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 313,15 \cdot 100}{(0,4 \cdot 10^6 + 0,1 \cdot 10^6) \cdot 293,15}$$
$$Q = 21,36 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Výpočet světlosti potrubí dle vztahu (1.1)

$$d = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{Q}{v}} = 18,8 \cdot \sqrt{\frac{21,36}{12}}$$
$$d = 25 \text{ mm}$$

3. Tlakové ztráty ve vedení

Určování tlakových ztrát ve vedení se provádí od délek několika metrů. [1] Výpočet tlakové ztráty ve vedení do délky desítek metrů se uplatňuje vzorec (1.3)

$$\Delta p = \left(\lambda \cdot \frac{L}{d} + \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad (1.3)$$

Ztrátový součinitel ξ se pro pneumatické obvody do spojovací světlosti 25 mm počítá podle průtokového součinitele K_V [1] dle vztahu (1.4)

$$\xi = 2,6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{d^4}{K_V^2} \quad (1.4)$$

Nejčastější případ proudění u pneumatických prvků je proudění podkritické. Pro výpočet průtokového součinitele K_V při podkritickém proudění se používá rovnice (1.5), kdy se hodnoty Q a K_V se dosazují v $[m^3 \cdot h^{-1}]$. [2]

$$K_V = 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot Q \quad (1.5)$$

Součinitel tření λ se počítá především v závislosti na Reynoldsově čísle. Díky vysokým rychlostem proudění stlačeného vzduchu v pneumatických obvodech a menší kinematické viskozitě vzduchu se bude proudění tlakového vzduchu nacházet vždy v oblasti turbulentního proudění. Proto použijeme vztah (1.6) pro turbulentní proudění v kovovém potrubí. [1]

$$\lambda = \frac{0,242}{Re^{0,22}} \quad (1.6)$$

Reynoldsovo číslo [1]

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (1.7)$$

Přepočet hustoty vzduchu na zadané podmínky [2]

$$\rho = \frac{p + p_N}{r \cdot T} \quad (1.8)$$

3.1. Výpočet tlakových ztrát ve vedení – první úsek

Zadané parametry pro první úsek obvodu:

$$Q_{N1} = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$T_N = 293,15 \text{ K}$$

$$d_1 = 0,025 \text{ m}$$

$$L_1 = 50 \text{ m}$$

$$T_1 = 313,15 \text{ K}$$

$$p_1 = 0,7 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$p_N = 0,1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$v_1 = 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_1 = 2,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$r = 287,1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Přepočet průtoku na dané parametry dle vzorce (1.2)

$$Q_1 = \frac{p_N \cdot T_1 \cdot Q_{N1}}{(p_1 + p_N) \cdot T_N} = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 313,15 \cdot 100}{(0,7 \cdot 10^6 + 0,1 \cdot 10^6) \cdot 293,15}$$

$$Q_1 = 13,353 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Výpočet průtokového součinitele dle rovnice (1.5)

$$K_{V1} = 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot Q_1 = 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot 13,353$$

$$K_{V1} = 0,2137 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Přepočet hustoty vzduchu na dané podmínky dle vzorce (1.8)

$$\rho_1 = \frac{p_1 + p_N}{r \cdot T_1} = \frac{0,7 \cdot 10^6 + 0,1 \cdot 10^6}{287,1 \cdot 313,15}$$

$$\rho_1 = 8,898 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Výpočet ztrátového součinitele dle vzorce (1.4)

$$\xi_1 = 2,6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{d_1^4}{K_{V1}^2} = 2,6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,025^4}{0,2137^2}$$

$$\xi_1 = 2,22509 \cdot 10^{-11}$$

Výpočet Reynoldsova čísla dle vzorce (1.7)

$$Re_1 = \frac{v_1 \cdot d_1}{\nu_1} = \frac{12 \cdot 0,025}{2,14 \cdot 10^{-6}}$$

$$Re_1 = 140285$$

Výpočet součinitele tření dle vzorce (1.6)

$$\lambda_1 = \frac{0,242}{Re_1^{0,22}} = \frac{0,242}{140285^{0,22}}$$

$$\lambda_1 = 0,0178432$$

Výpočet tlakových ztrát v prvním úseku dle vzorce (1.3) ztrátový součinitel násobím osmi, protože první úsek obvodu obsahuje 8 prvků.

$$\Delta p_1 = \left(\lambda_1 \cdot \frac{L_1}{d_1} + 8 \cdot \xi_1 \right) \cdot \frac{v_1^2}{2} \cdot \rho_1 = \left(0,0178432 \cdot \frac{50}{0,025} + 8 \cdot 2,22509 \cdot 10^{-11} \right) \cdot \frac{12^2}{2} \cdot 8,898$$

$$\Delta p_1 = 22863 \text{ Pa}$$

3.2. Výběr potrubí pro druhý úsek obvodu

V druhém úseku se pneumatický obvod rozdělí do 6 větví. V každé větvi bude stejný průtok Q_{N2} a díky malé vzdálenosti potrubí od kotle teplota vzroste na $T_2 = 333,15 \text{ K}$. Průměr potrubí d_2 volím podle přípojovacího rozměru průtokoměru z Tab.7.3 přípojovací rozměr průtokoměru $DN = 15 \text{ mm}$, jenž jsem zvolil podle průtoku Q_{N2} . Vybírám bezešvou ocelovou trubku od firmy Walraven.

Parametry trubky:[5]

- Materiál – ocel 37
- průměr $D = 21,3 \text{ mm}$ (Obr.2.1)
- tloušťka $s = 2 \text{ mm}$ (Obr.2.2)
- přípojovací rozměr je $G1/2 - DN = 15 \text{ mm}$
- hmotnost $m = 1,19 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$
- vzdálenost upevnění $L_{\max} = 2,75 \text{ m}$

3.3. Výpočet tlakových ztrát ve vedení – druhý úsek

Zadané parametry pro druhý úsek obvodu:

$$Q_{N2} = \frac{Q_{N1}}{6} = 16,667 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$T_N = 293,15 \text{ K}$$

$$d_2 = 0,015 \text{ m}$$

$$L_2 = 30 \text{ m}$$

$$T_2 = 333,15 \text{ K}$$

$$p_2 = 0,55 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$p_N = 0,1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$v_2 = 2,94 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$r = 287,1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Přepočet průtoku na dané parametry dle vzorce (1.2)

$$Q_2 = \frac{p_N \cdot T_2 \cdot Q_{N2}}{(p_2 + p_N) \cdot T_N} = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 333,15 \cdot 16,667}{(0,55 \cdot 10^6 + 0,1 \cdot 10^6) \cdot 293,15}$$

$$Q_2 = 2,914 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Výpočet průtokového součinitele dle rovnice (1.5)

$$K_{V2} = 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot Q_2 = 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot 2,914$$

$$K_{V2} = 0,0466236 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Přepočet hustoty vzduchu na dané podmínky dle vzorce (1.8)

$$\rho_2 = \frac{p_2 + p_N}{r \cdot T_2} = \frac{0,55 \cdot 10^6 + 0,1 \cdot 10^6}{287,1 \cdot 333,15}$$

$$\rho_2 = 6,795 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Výpočet ztrátového součinitele dle vzorce (1.4)

$$\xi_2 = 2,6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{d_2^4}{K_{V2}^2} = 2,6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,015^4}{0,0466236^2}$$

$$\xi_2 = 6,05519 \cdot 10^{-11}$$

Výpočet rychlosti vzduchu v druhém úseku potrubí [1]

$$v_2 = \frac{18,8^2 \cdot Q_2}{d_2^2} = \frac{18,8^2 \cdot 2,914}{0,015^2} \quad (1.9)$$

$$v_2 = 4,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Výpočet Reynoldsova čísla dle vzorce (1.7)

$$\text{Re}_2 = \frac{v_2 \cdot d_2}{\nu_2} = \frac{4,6 \cdot 0,015}{2,94 \cdot 10^{-6}}$$

$$\text{Re}_2 = 23336$$

Výpočet součinitele tření dle vzorce (1.6)

$$\lambda_2 = \frac{0,242}{\text{Re}_2^{0,22}} = \frac{0,242}{23336^{0,22}}$$

$$\lambda_2 = 0,0264758$$

Výpočet tlakových ztrát v prvním úseku dle vzorce (1.3) ztrátový součinitel násobím třemi, protože první úsek obvodu obsahuje 3 prvků.

$$\Delta p_2 = \left(\lambda_2 \cdot \frac{L_2}{d_2} + 3 \cdot \xi_2 \right) \cdot \frac{v_2^2}{2} \cdot \rho_2 = \left(0,037886 \cdot \frac{30}{0,015} + 3 \cdot 6,05519 \cdot 10^{-11} \right) \cdot \frac{4,6^2}{2} \cdot 5,75$$

$$\Delta p_2 = 31371 \text{ Pa}$$

Výpočet celkové tlakové ztráty v obvodu

$$\Delta p_c = \Delta p_1 + \Delta p_2 = 22863 + 31371$$

$$\Delta p_c = 54\,234 \text{ Pa}$$

Celková tlaková ztráta ve vedení Δp_c vyšla v povolených mezích, takže volba potrubí je v pořádku.

4. Filtr

Běžný vzduch ve městě obsahuje v 1 m^3 až 40 milionů pevných částic. Stlačený vzduch o tlaku 7 bar pak bude obsahovat 320 milionů pevných částic.[2] Díky této skutečnosti je opravdu nezbytné do sacího potrubí nainstalovat správně dimenzovaný filtr tak, aby nepropouštěl příliš velké pevné částice obsažené ve vzduchu, ale zároveň nesmí být příliš jemný, protože by kladl velký odpor a snižoval výkonnost kompresoru. Rozměry filtru jsou také důležité, jelikož malý průřez sacího potrubí by měl za následek snížení výkonnosti kompresoru.

Umístění sacího potrubí by mělo zajistit, aby kompresor nasával čistý a chladný vzduch. Vyrobený stlačený vzduch musí mít určitou kvalitu, aby pneumatický obvod spolehlivě plnil požadované funkce. Kvalita je určena čistotou stlačeného vzduchu, odstraněním kondenzované vody a případným mazáním vzduchu olejem.

Pro kompresory jsou vhodné sací filtry, které zachycují částice prachu větší než $10 \text{ }\mu\text{m}$ a jejich tlaková ztráta je menší než 250 Pa. [2]

Tab.4.1 Filtry

Výrobce	Typ	p_{\max}	Q_{\max}	poréznost filtru	DN
		[bar]	[m ³ · h ⁻¹]	[μm]	[mm]
SMC	AF60-F10	12	558	10	25
FESTO	LF-1/2-D-5M-MIDI	16	120	5	15

Podle připojovacího závitu volím z Tab.4.1 filtr AF60-F10-7-10 od firmy SMC s filtrační vložkou z polykarbonátu. Provozní teploty pro tento filtr jsou -5 až 60 °C, objem jímky je 45 cm³. [6]

5. Dvoucestný jednosměrný ventil

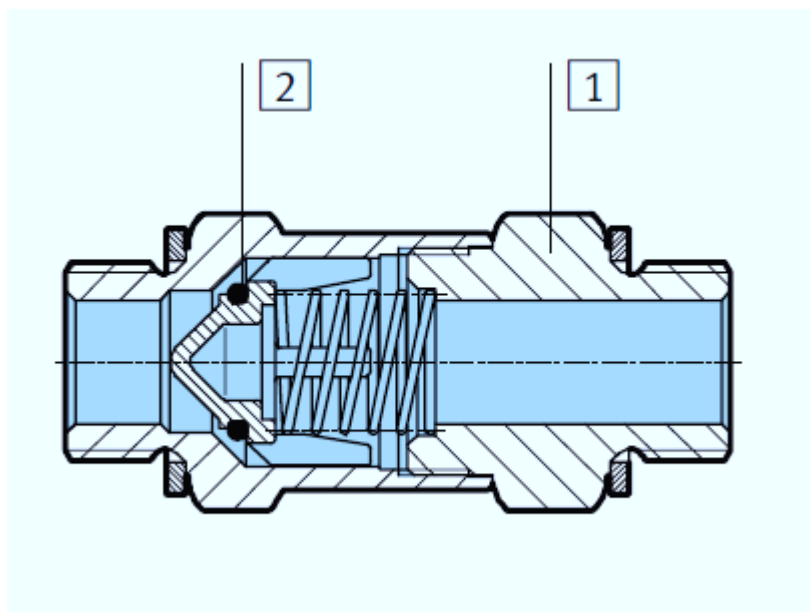
Nazývaný také jako zpětný ventil. Využívá se pro průchod vzduchu jedním směrem, v opačném směru se ventil uzavře a těsní. Při malém průtoku vzduchu se jako uzavírací prvek používá kulička, při vyšších průtocích je použita kuželka, k dokonalejšímu těsnění je přidán těsnicí kroužek.

Tab.5.1 Zpětné ventily

Výrobce	Typ	p_{\max}	Q_{\max}	DN
		[bar]	[m ³ · h ⁻¹]	[mm]
SMC	EAK6000-F10	16	719	25
FESTO	H-1-B	12	330	25
NORGREN	T60C889	16	331	25

Na základě přípojovacího rozměru potrubí v prvním úseku $DN = 25$ mm volím typ EAK6000-F10 kovové provedení zpětného ventilu pro vysoké průtoky z katalogu firmy SMC. Ventil je sice mírně předimenzován, ale přípojovací rozměr přesně sedí na zvolené potrubí v prvním úseku. Kdybych volil zpětný ventil podle průtoku, přípojovací rozměr by nesouhlasil, musel bych použít redukci a vznikaly by nežádoucí místní ztráty.

1	těleso	tvárný legovaný hliník, eloxovaný
2	těsnění	nitrilkaučuk
-		prosté mědi a PTFE



Obr.5.1 Řez zpětným ventilem

6. Snímače tlaku

Měření tlakových veličin je nejjednodušší, u těchto veličin je požadována přesnost $\pm 2,5$ %.[1] Jako měřidla se používají běžné manometry analogové nebo digitální. Umístění měřidel je potřeba promyslet, aby se co nejvíc snížila nepřesnost měření.

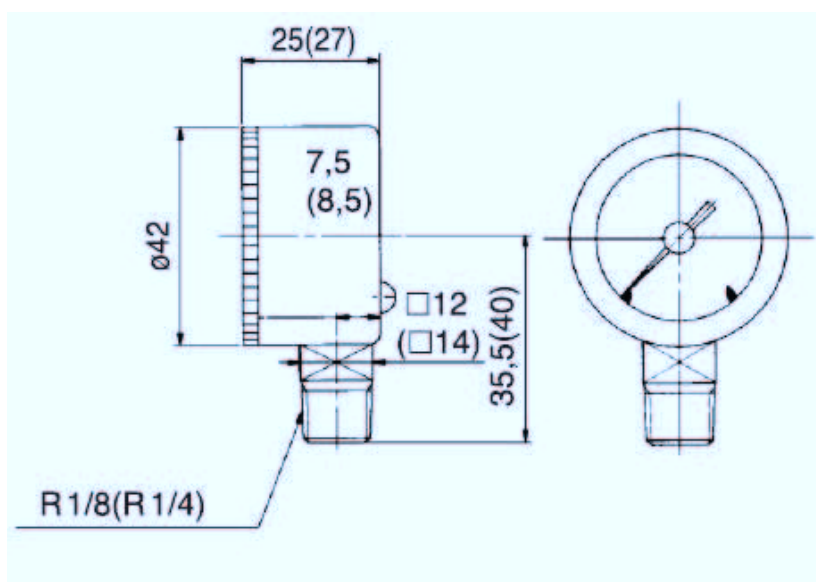
Podle zadaných hodnot minimálního tlaku pro bezproblémový chod obvodu $p_{\min} = 4$ bar, jsem vyhledal v katalozích firem neelektrické manometry a elektrické manometry, které lze použít do zadaného pneumatického obvodu. Těla manometrů volím ocelová, aby v průmyslovém prostředí nedocházelo k poškození manometrů.

6.1. Neelektrické manometry

Tab.6.1 Neelektrické manometry

Výrobce	Typ	Rozsah tlaků	DN	Třída přesnosti
		[bar]	[mm]	%
SMC	GA46-15-02	0 až 15	8	2,5
WIKA	MRS115	0 až 16	15	1
Manotherm	MM 40 S - 112 - 1,6	0 až 16	6	1,6

Dle povoleného rozsahu měřených tlaků jsem z Tab.6.1 vybral neelektrický manometr z katalogu firmy SMC. Model GA46-15-02 se závitem kolmým na osu. Přesnost měření je $\pm 2,5\%$ a těleso manometru je ocelové. Čep se závitem $R\frac{1}{4} = 8\text{ mm}$ je vyroben z mosazi. Průměr hlavy manometru je 42 mm.[6]



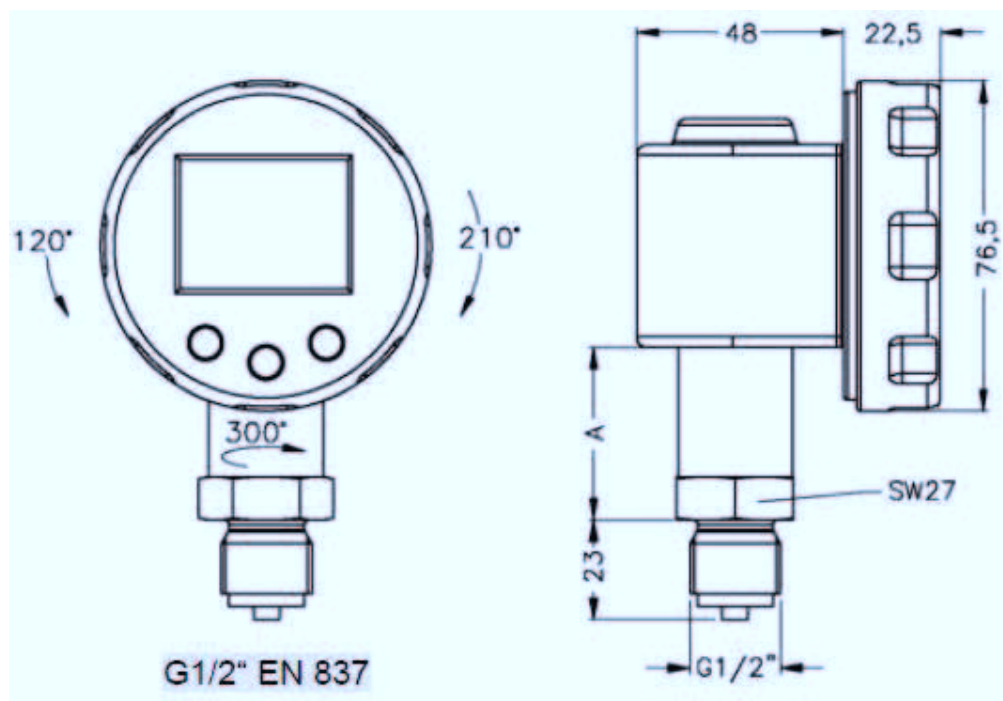
Obr.6.1 Rozměry manometru GA46-15-02

6.2. Elektrické manometry

Tab.6.2 Elektrické manometry

Výrobce	Typ	Rozsah tlaků	Vnější průměr hadice	Třída přesnosti
		[bar]	[mm]	%
SMC	PPA100-06	0 až 10	6	0,5
BAROLI	BAROLI	0 až 16	15	0,5

Pro elektrickou část vybírám digitální manometr BAROLI, který je určen pro měření tlaku kapalin a plynů. Je vybaven dvouřádkovým LCD displejem pro zobrazení měřené hodnoty a jednotky. Napájecí napětí 12 až 24 V DC. Analogový výstup 4 až 20 mA. Displej manometru je otočný, takže je zajištěno pohodlné čtení v libovolné montážní poloze.



Obr.6.2 Rozměry manometru Baroli

7. Průtokoměry

Měření průtoku můžeme provádět několika metodami, a to škrtícími prvky (clona, dýza), rotametrem a turbínovým průtokoměrem.[2] Průtokoměry vybírám z katalogů firem podle připojovacího rozměru tak, aby se daly přímo nainstalovat do pneumatického obvodu bez použití redukce. Připojovací rozměry jsou dány průměrem potrubí v prvním úseku obvodu a průměrem potrubí v druhém úseku obvodu.

Tab.7.1 Neelektrické průtokoměry pro první úsek potrubí

Výrobce	Typ	p_{\max}	Q_{\max}	DN
		[bar]	[m ³ · h ⁻¹]	[mm]
IN-ECO	PL5	10	100	25
KROHNE	H250/M9	31	110	25
IN-ECO	BC-K2	10	130	40

Podle připojovacího rozměru DN potrubí volím průtokoměr typu PL5 od firmy IN-ECO. Je vyroben z akrylátu s kalibrovaným a leštěným kuželovitým měřicím otvorem umístěným přímo v tělese. Plovák je buď vedený nebo volný, zhotoven z nerezové oceli. Maximální dovolená teplota vzduchu je 70°C. Přesnost zařízení je $\pm 5\%$.[8]

Tab.7.2 Elektrické průtokoměry pro první úsek potrubí

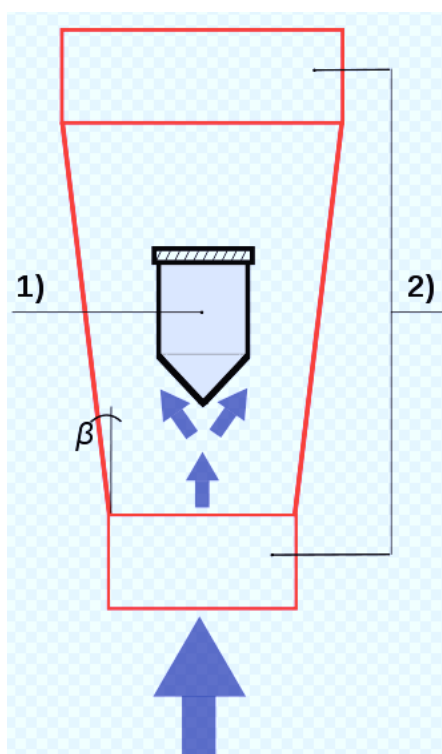
Výrobce	Typ	p_{\max}	Q_{\max}	DN
		[bar]	[m ³ · h ⁻¹]	[mm]
SMC	PF2A703H-F10-68N	10	180	25
FESTO	SFAM-90-3000-TG1-2SA-M12	16	180	25

Na základě přípojovacího rozměru potrubí vybírám průtokoměr od firmy FESTO typu SFAM-90-3000-TG1-2SA-M12. Maximální dovolená teplota stlačeného vzduchu je 80°C. Analogový výstup je 4 až 20 mA a elektrické připojení je M12.[7]

Tab.7.3 Neelektrické průtokoměry pro druhý úsek potrubí

Výrobce	Typ	p_{\max}	Q_{\max}	DN
		[bar]	[m ³ · h ⁻¹]	[mm]
IN-ECO	PL2	10	25	15
IN-ECO	MKE	10	20	20

Dle přípojovacího rozměru potrubí volím průtokoměr od firmy IN-ECO typu PL2, který je vyroben z totožných materiálů jako typ PL5. Maximální dovolená teplota stlačeného vzduchu je 70°C. Přesnost měřidla je ±5%.[8]



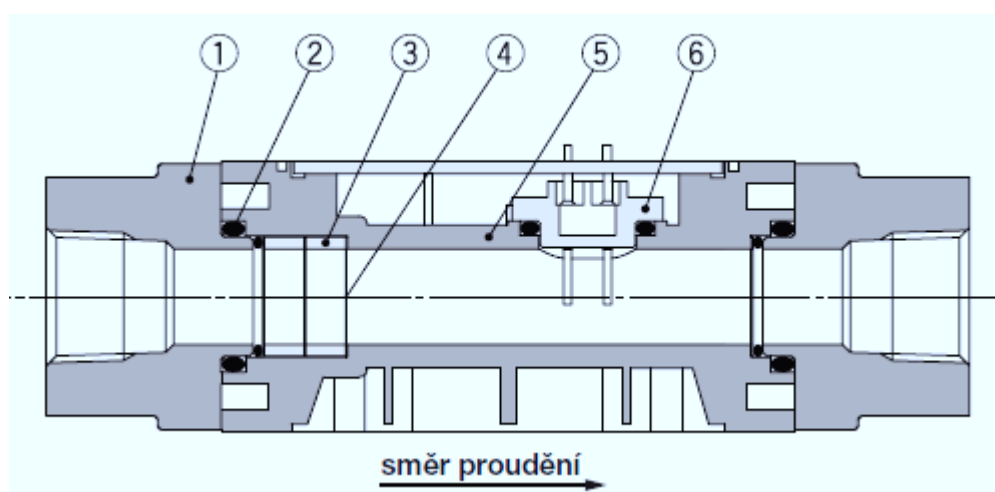
1) Plovák, 2) Kuželová trubice, β) úhel sklonu

Obr.7.1 Princip plovákového průtokoměru

Tab.7.4 Elektrické průtokoměry pro druhý úsek potrubí

Výrobce	Typ	p_{\max}	Q_{\max}	DN
		[bar]	[m ³ · h ⁻¹]	[mm]
SMC	PF2A551-F04N-Q	6	30	15
FESTO	SFAM-62-1000-TG1/2-2SAM12	16	60	15

Podle připojovacího rozměru potrubí vybírám digitální průtokový snímač od firmy SMC typ PF2A551-F04N-Q. Tento snímač má externí LED-displej, což umožňuje kontrolovat průtok z řídicího centra. Má dlouhou životnost, protože nemá mechanické pohyblivé díly. Napájecí napětí 12 až 24 V DC. Analogový výstup 4 až 20 mA. Přesnost měřidla je $\pm 5\%$. [6]



Seznam dílů

Č.	Popis	Materiál
1	Čelo	ADC
2	Těsnění	NBR
3	Distanční vložka	PBT
4	Filtr	korozivzdorná ocel
5	Těleso	PBT
6	Čidlo	PBT

Obr.7.2 Řez průtokoměrem PF2A551-F04N-Q

8. Vzdušník

Instaluje se bezprostředně za kompresor, jeho funkce je především omezit kolísání tlaku zapříčiněné přetržitou dodávkou stlačeného vzduchu pístovými kompresory nebo jeho nerovnoměrným odběrem pneumatickými mechanismy. Ve vzdušníku se vzduch ochlazuje, takže zároveň slouží jako odlučovač kondenzátu. Vzdušník, až na výjimku u malých kompresorů, je tlakovou nádobou, která podle ČSN 69 0010 je definována součinem jejího objemu v dm^3 a přetlaku v MPa, pro kterou platí $V \cdot p > 10$. Tlaková nádoba musí být vybavena předepsanou armaturou a podléhá předepsaným revizím. Vzdušník musí podle normy ČSN 69 0010-5-2 obsahovat tyto prvky, manometr, pojistný ventil, uzavírací ventil, odvětrávací uzávěr, teploměr a vypouštěcí ventil.

8.1. Výpočet objemu vzdušníku

Vstupní část rozvodu stlačeného vzduchu je vzdušník. Velikost vzdušníku je dána objemem a je přímo závislá na výkonnosti kompresoru a nepřímo na stupni jeho využití, čili na typu jeho regulace.

Objem vzdušníku můžu spočítat podle následujících vzorců:

- a) při regulaci výkonnosti kompresoru změnou otáček, odfukem nebo v sání [2]

$$V_v = 0,4 \cdot Q_N \text{ m}^3 \quad (8.1)$$

- b) při regulaci start-stop a při maximálně 15 zapnutí za hodinu [2]

$$V_v = 0,9 \cdot Q_N \text{ m}^3 \quad (8.2)$$

kde Q_N je jmenovitá výkonnost kompresoru $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Pro zadané parametry $Q_N = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a $p_{\min} = 0,4 \text{ MPa}$ je vhodná volba regulace výkonnosti kompresoru změnou otáček, takže volím vzorec (8.1)

$$Q_N = 1,67 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$V_v = 0,4 \cdot Q_N$$

$$V_V = 0,4 \cdot 1,67$$

$$V_V = 0,667 \text{ m}^3$$

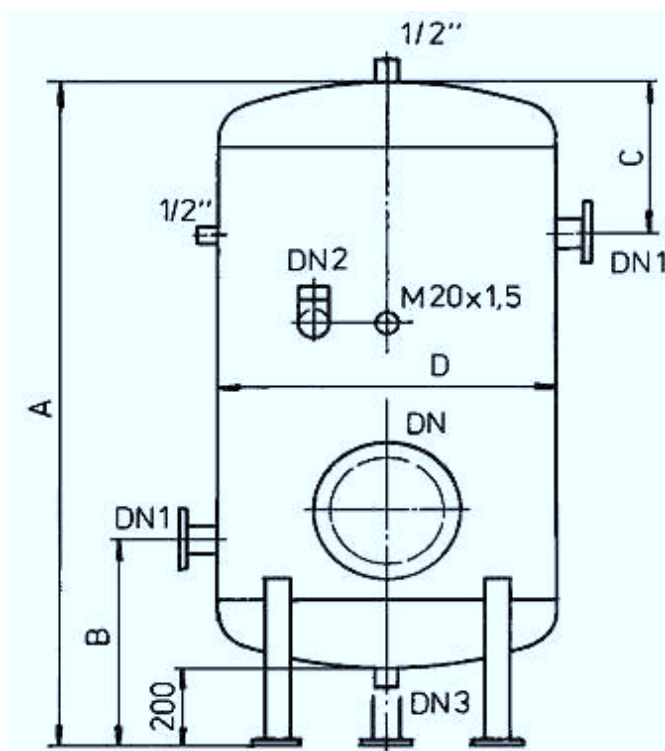
Výsledný objem vzdušníku $V_V = 0,667 \text{ m}^3$ podle kterého vyhledám vyhovující typy vzdušníků v katalozích firem.

Tab.8.1 Rozměry vzdušníků

Typ	V	A	B	C	D	DN	DN1	DN	DN3	m	p _{max}
	[dm ³]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[in]	[in]	[in]	[in]	[kg]	[bar]
Vsv-11	800	2002	526	326	800	2	2	5/4	1	215	11
Kae-ser	1000	2402	526	326	800	2	2	5/4	1	260	10

8.2. Volba vzdušníku pro první úsek obvodu

Dle objemu $V_V = 0,667 \text{ m}^3$ vybírám vzdušník z Tab.8.1 typ VSV-11 od firmy Veskom.



Obr.8.1 Vzdušník

8.3. Volba malého vzdušníku pro druhý úsek obvodu

Dle připojovacího rozměru potrubí v druhém úseku obvodu vybírám vzdušník od firmy Veskom. Typ vzdušníku je BH-VZBA 90/11, který obsahuje všechny povinné armatury. Objem vzdušníku je 90 dm^3 . Maximální pracovní tlak je 11 bar.[9] K vzdušníku bude připojeno všech šest větví.

9. Pneumatické prvky na vzdušníku Vsv-11

9.1. Manometr na vzdušníku

Volím z Tab.6.1 model GA46 se závitem kolmým na osu. Přesnost měření je $\pm 2,5 \%$ a těleso manometru je z ocele. Čep se závitem $R \frac{1}{4}$ je vyroben z mosazi.

9.2. Ventil pro odpouštění kondenzátu

K odstranění kondenzátu ze vzdušníku volím na základě připojovacího rozměru na vzdušníku ventil ADH4000-F04 od firmy SMC.

Parametry ventilu: [6]

- Maximální provozní tlak – 16 bar
- Maximální průtok kondenzátu – $0,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
- Objem jímky – 400 cm^3
- Nečistoty v kondenzátu bez vlivu na funkci
- Rozsah provozních teplot – 5 až $60 \text{ }^\circ\text{C}$
- Závít – $G1/2$



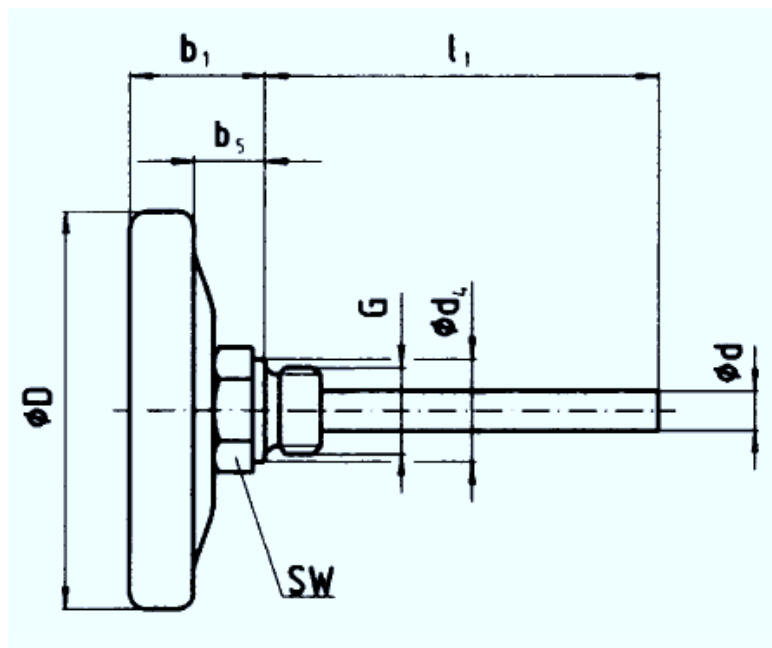
Obr.9.1 Ventil pro odpouštění kondenzátu

9.3. Teploměr

Hledám podle rozsahu teplot a přípojovacího rozměru na vzdušníku. Jako neelektrický volím Bimetalový teploměr v průmyslovém provedení typ 5207 od firmy Stato. Měřicí prvek je bimetalová spirála. Rozsah měřených teplot je 0 až 120 °C. Maximální pracovní tlak je 25 bar a připojení je zezadu teploměru.[12]

Tab.9.1 Rozměry teploměru

b1 [mm]	b5 [mm]	Ød [mm]	Ød4 [mm]	ØD [mm]	G	l1 [mm]	SW [mm]
29	13	8	26	63	G 1/2"	100	27



Obr.9.2 Neelektrický teploměr

Elektrický teploměr

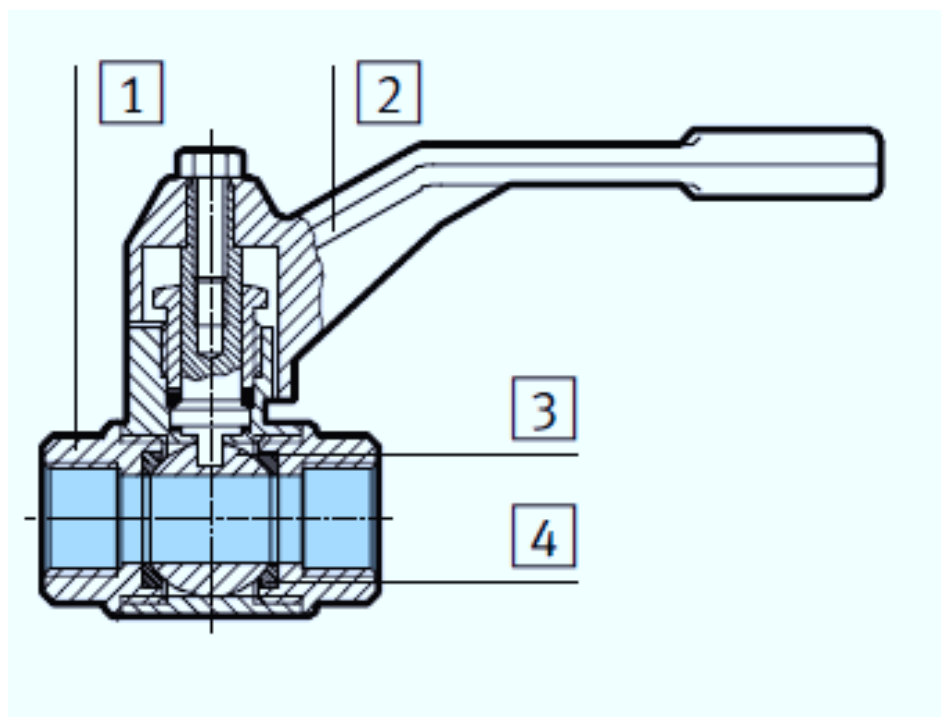
Dle rozsahu měřených teplot vybírám teploměr od firmy Sensit typu STID Pt 100. Napájecí napětí je 24 V. Výstupní proud je 4 až 20 mA. Rozsah měřených hodnot 0 až 100°C. Chyba měření přístroje je 0,6 %.

9.4. Uzavírací ventil a odvětrávací ventil

Pro uzavření přívodu vzduchu do vzdušníku volím kulový kohout QH-1 od firmy Festo. Stejný kulový kohout QH-1 volím pro vypuštění vzduchu ze vzdušníku.

Parametry ventilu: [7]

- Maximální průtok – $33000 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
- Maximální tlak - 30 bar
- Princip těsnění - měkké
- Druh ovládání - ruční
- Připojení - G1
- Jmenovitá světlost - 10 mm
- Teplota okolí – od -20 do 180 °C



kulový kohout		
1	těleso	mosaz
2	páka	hliník, lakovaný
3	kuželka	tvrdě chromovaná
4	těsnění	polytetrafluoretylén

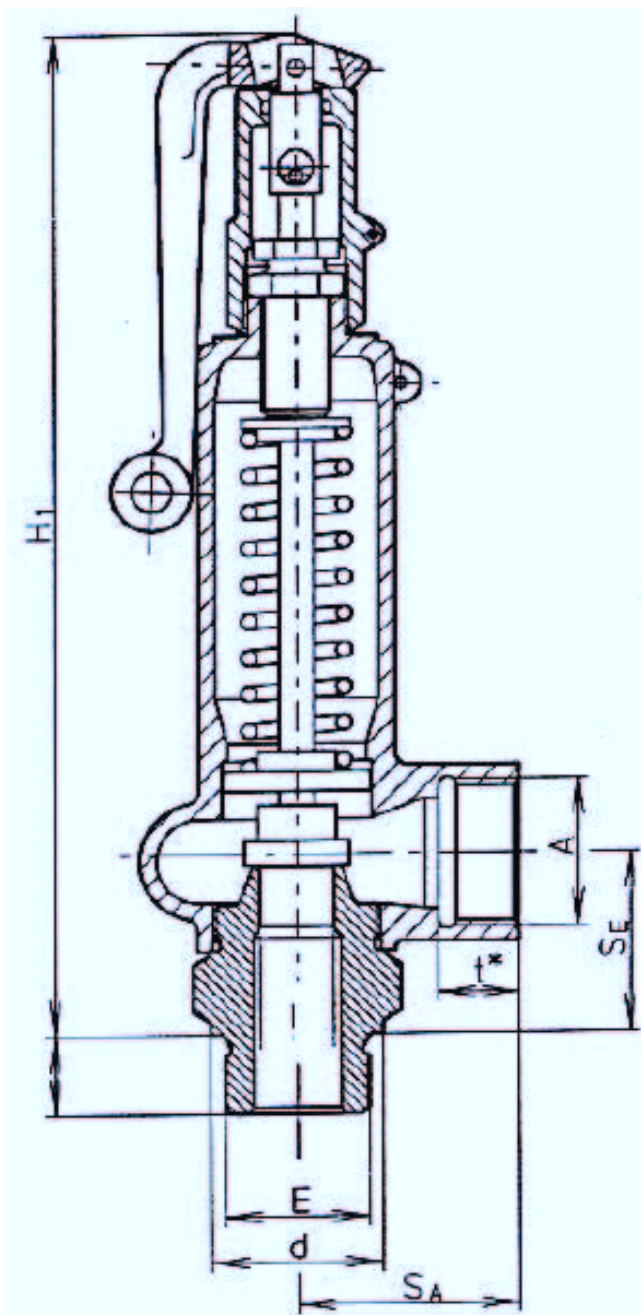
Obr.9.3 Řez kulovým kohoutem

9.5. Pojistný ventil na vzdušníku

Pojistný ventil je armatura, která zabráňuje překročení určitého přetlaku samočinným otevřením, a která se po poklesu tlaku zpět uzavře. Pojistný ventil nízkozdvížný nemá na sedle kuželky přídatnou plochu, která by způsobila zvětšení zdvihu. Používá se pro jištění tlakových nádob proti nežádoucímu zvednutí pracovního přetlaku. Na základě přípojovacího rozměru na vzdušníku volím pružinový pojistný ventil od firmy Fluidtechnik Bohemia, typ 10.2 s kovovým těsněním.

Tab.9.2 Rozměry pojistného ventilu

H_1	E	A	t^*	S_E	S_A	d	p_{\max}	T_{\max}
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[bar]	[°C]
200	15	15	14	34	40	26	16	280



Obr.9.4 Pojistný ventil

10. Redukční ventil

Řízení tlaku v hydraulických systémech je odlišné od řízení tlaku v pneumatických systémech, protože v pneumatických systémech se k tomuto účelu nepoužívají ventily tlakové ani přepouštěcí, ale výhradně ventily redukční.

Funkcí redukčních ventilů je udržovat konstantní tlak v systémech nezávisle na měnícím se tlaku zdroje stlačeného vzduchu – vzdušníku a také umožňovat redukci tlaku pro řídicí obvody.[1]

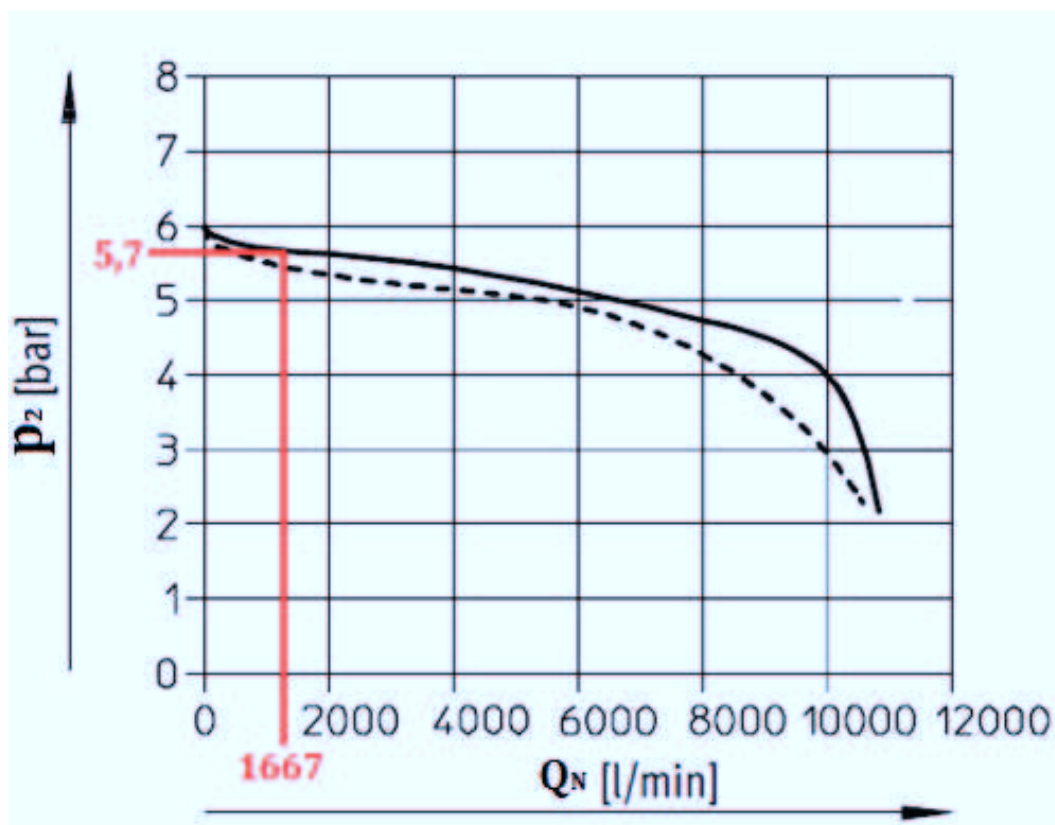
Tab.10.1 Redukční ventily

Výrobce	Typ	Q_{\max}	Regulační rozsah	Připojení
		$\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	[bar]	[in]
Festo	MS6-LR1	7500	0,5 až 16	G1
SMC	AR60-F10	9000	0,5 až 8,5	G1
Ing.Stuksa	DR35G	5000	0,5 až 10	G1

10.1. Výběr redukčního ventilu dle připojovacího průměru

Opět je volba redukčního ventilu ovlivněna připojovacím rozměrem potrubí v prvním úseku. Podle katalogu od firmy Festo můžeme vyčíst z grafu pro redukční ventil typu MS6-LR závislosti výstupního tlaku p_2 na průtoku Q_N při vstupním tlaku $p_1 = 10$ bar, že pokud průtok nabývá zadané hodnoty $1667 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ tak redukovaný tlak $p_2 = 5,7$ bar.

Tato hodnota je pro zadaný pneumatický obvod vyhovující, proto k řízení tlaku v pneumatickém obvodu použijí redukční ventil MS6-LR, který se bude instalovat přímo do vedení. Při vysokém průtoku má redukční ventil nízký pokles tlaku. Rozsah redukce tlaku ventilu vybírám $D6 = 0,3$ až 7 barů.

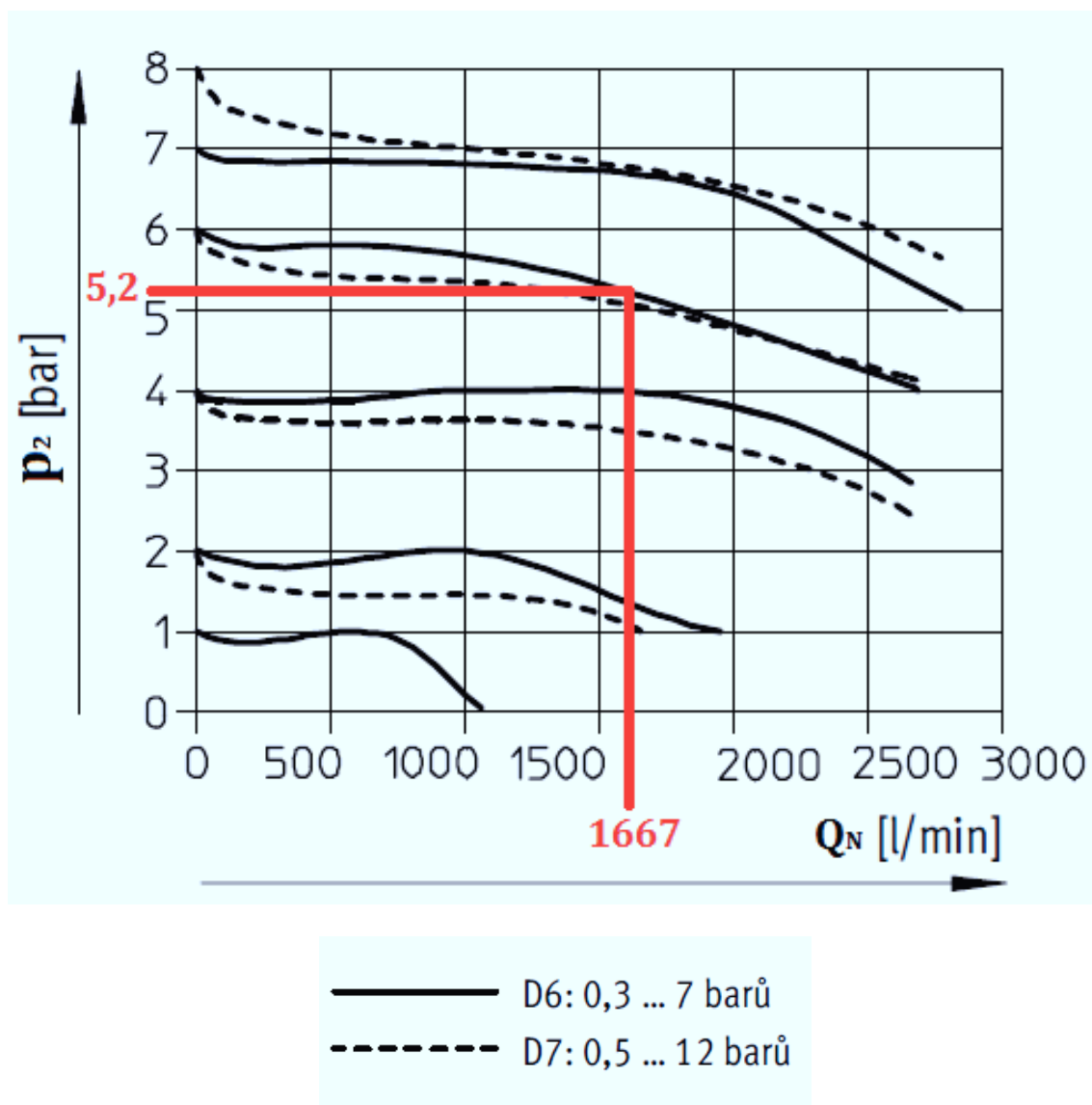


— D6: 0,3 ... 7 barů
- - - D7: 0,5 ... 12 barů

Obr.10.1 Graf v závislosti p_2 na Q_N

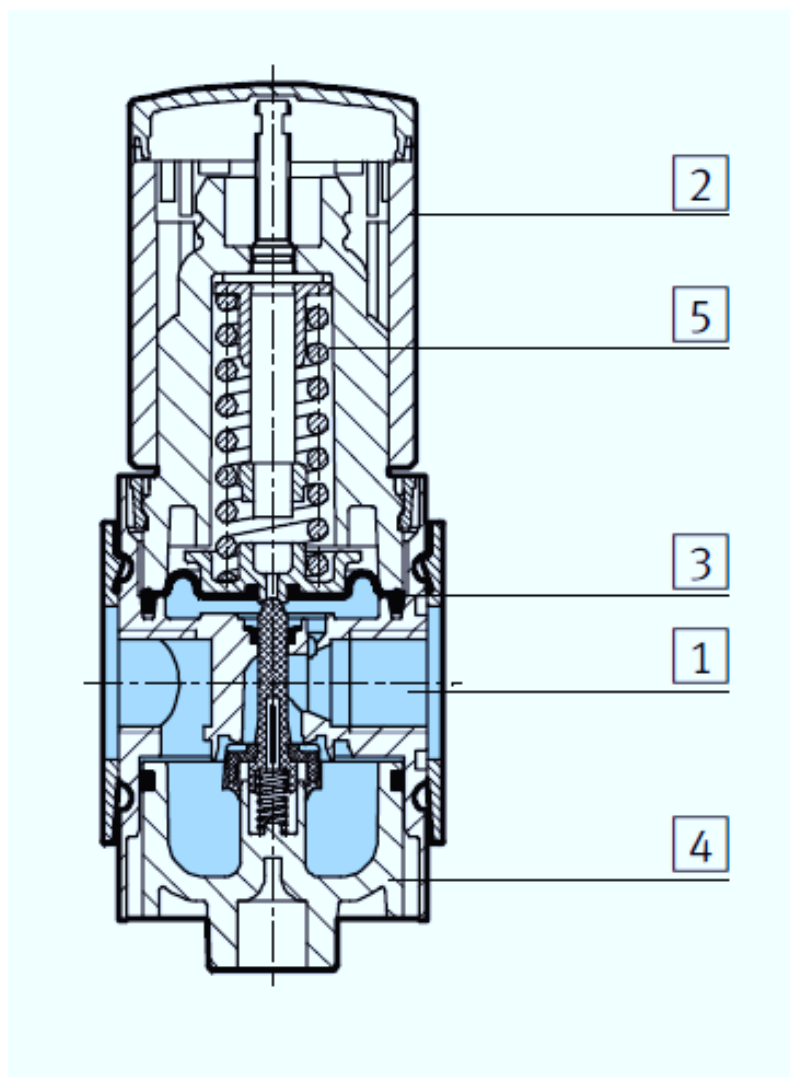
10.2. Výběr redukčního ventilu dle daného průtoku

Pokud budu redukční ventil vybírat na základě průtoku $Q_N = 1667 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, tak bych podle grafu závislosti výstupního tlaku p_2 na průtoku Q_N při vstupním tlaku $p_1 = 10 \text{ bar}$ zjistil, že pro redukční ventil typu MS4-LR1/4 od firmy Festo je redukovaný tlak $p_2 = 5 \text{ bar}$, což splňuje zadané požadavky na pneumatický obvod.



Obr.10.2 Graf v závislosti p_2 na Q_N

10.3. Řez redukčním ventilem



Redukční ventil		
1	těleso	hliníkový tlakový odlitek
2	ovládací hlavice	polyamid/polyacetal
3	membrána	nitrilkaučuk
4	dolní víčko	polyester, zesílený skelnými vlákny
5	pružina	ocel
–	těsnění	nitrilkaučuk
poznámka o materiálu		prosté mědi a PTFE pouze se zásepkou VS

Obr.10.3 Řez redukčním ventilem s popisem základních částí

11. Jehlový ventil

Slouží k regulaci průtoku v druhém úseku potrubí, kde je potrubí rozděleno na šest větví. Každá větev musí jít regulovat zvlášť, protože průtok nemusí být vždy rovnoměrný. Podle přípojovacího rozměru potrubí v druhém úseku obvodu kap.11.2 volím jehlový ventil typu 147 od firmy Armat.

Parametry jehlového ventilu typu 147:[11]

- Maximální tlak – 34 bar
- Maximální teplota – 200 °C
- Přípojovací rozměr - DN = 15 mm
- Průtokový koeficient - $K_V = 2,16 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
- Materiál tělesa – nerezová ocel



Obr.11.1 Jehlový ventil

12. Závěr

Smyslem této bakalářské práce je navrhnout pneumatickou větev testovacího modulu pro technologii SNCR. Pro zadané hodnoty maximální spotřeby vzduchu $Q_N = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a minimálního provozního tlaku $p_{\min} = 4 \text{ bar}$ jsem zvolil vhodný šroubový kompresor. Tento typ kompresoru se vyznačuje kontinuální dodávkou stlačeného vzduchu, takže nevznikají velké tlakové rázy, které jsou v pneumatickém obvodu nežádoucí. Na základě přípojovacího rozměru kompresoru jsem navrhl potrubí pro první úsek obvodu. Všechny prvky, jenž jsem zařadil do prvního úseku obvodu, vybírám dle přípojovacího rozměru potrubí i za cenu mírného předimenzování. Pokud bych volil prvky podle jiných parametrů, k jejich instalaci do obvodu by bylo nutné použití redukce. Ta by zapříčinila vysoké místní ztráty, které jsou v pneumatickém obvodu nežádoucí.

Potrubí v druhém úseku obvodu jsem zvolil dle zadaného průtoku, který se rozdělil do šesti větví. Jednotlivé větve lze nezávisle na sobě uzavírat pomocí jehlových ventilů. Prvky v druhém úseku obvodu jsem též vybíral dle přípojovacího rozměru potrubí.

Po té jsem spočítal tlakovou ztrátu v celém obvodu a zjistil jsem, že u každé trysky bude dosažen požadovaný minimální tlak $p_{\min} = 4 \text{ bar}$.

Obvod jsem navrhl pro dvě varianty: 1) neelektrické snímače veličin a mechanicky ovládané ventily 2) elektrické snímače veličin a elektricky ovládané ventily. Výkresová dokumentace obvodu obou variant je umístěna v příloze.

Seznam použité literatury

- [1] KOPÁČEK J. ŽÁČEK M.: Pneumatické zařízení strojů. VŠB TU Ostrava, 2008. 94 s. ISBN 978 – 80 – 248 – 0442 – 2
- [2] KOPÁČEK J.: Pneumatické mechanismy. Díl I, Pneumatické prvky a systémy. VŠB TU Ostrava, 1998. 265 s. ISBN 80 – 7078 – 306 – 0
- [3] HRADIL. F.: Potrubní systémy. VŠB TU Ostrava, 1994. 167 s. ISBN 80 – 7078 – 253 – 6
- [4] Orlik. Produkty [online]. Kompresory šroubové. 2007. Dostupné z WWW:
< <http://www.orlik.cz/cs/produkty.aspx?id=eg>>
- [5] Walraven. BIS Upevňovací systémy[online]. Ocelové potrubí. 2000. Dostupné z WWW:
<<http://www.walraven.com/cz/cs/upevnovaci-systemy/technicke-informace/ocelove-potrubí/>>.
- [6] SMC. Katalog [online]. 2009. Dostupné z WWW:
<<https://webshop.smc-cee.com/default.aspx?language=CZ>>.
- [7] FESTO Katalog [online]. Filtr, 2009. Dostupné z WWW:
<http://www.festo.com/pnf/cs_cz/products/catalog>.
- [8] IN-ECO. Průtokoměry [online]. Střední průtok PL. 2006. Dostupné z WWW:
<<http://www.in-eco.cz/prutokomery/stredni-prutok/pl/>>.
- [9] VESKOM. Kompresory, Vzdušníky [online]. Vzdušníky Veskom, 2000.
Dostupné z WWW: <<http://www.veskom.cz/?page=cz,id,vzduch-200001&sprava=view>>.
- [10] Fluidtechnik Bohemia. Katalog, Průmyslové armatury [online]. Pojistné ventily. FLUIDTECHNIK BOHEMIA, 2008. Dostupný z WWW:
<http://www.fluidbohemia.cz/resources/upload/data/168_SV10Ni_FT.pdf>
- [11] Armat. Ventily a klapky [online]. Jehlové ventily. 2009. Dostupné z WWW:
<<http://www.armat.cz/pdf/nerezove-jehlove-ventily-2.pdf>>

[12] Stato. Katalog, Pneumatické- příslušenství [online]. Bimetalové teploměry, 2012.
Dostupný z WWW: <<http://www.stato.cz/data.aspx?data=e99a3a5f-6818-4d34-af44-3b4145821412>>

Seznam příloh

Příloha A – Výkresová dokumentace obvodu s neelektrickými prvky

Příloha B – Výkresová dokumentace obvodu s elektrickými prvky